



⑬ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 43 26 522 A 1**

⑳ Aktenzeichen: P 43 26 522.7  
㉔ Anmeldetag: 6. 8. 93  
㉕ Offenlegungstag: 9. 2. 95

㉖ Int. Cl.<sup>8</sup>:  
**G 02 B 5/20**  
G 02 B 6/12  
G 02 F 1/00  
H 04 B 10/06  
H 04 J 14/02  
H 01 S 3/10

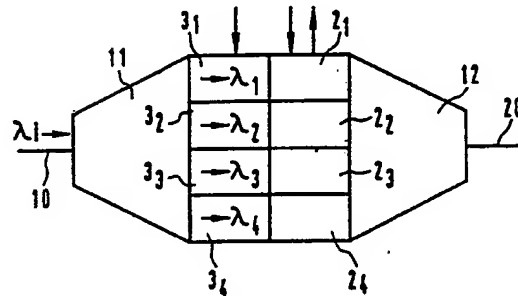
DE 43 26 522 A 1

㉗ Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

㉘ Erfinder:  
Schimpe, Robert, Dr., 85521 Ottobrunn, DE

㉙ Programmierbares optisches Filter und optische Schaltanordnung

㉚ Es ist ein programmierbares optisches Filter bekannt, das mit einem optischen Demultiplexer und optischen Verstärkern aufgebaut ist. Es soll demgegenüber ein schnell schaltbares polarisationsunabhängiges programmierbares optisches Filter bereitgestellt werden. Dazu werden anstelle der optischen Filter optische Absorptionsmodulatoren oder optische Schalter verwendet. Optische Verstärker können zusätzlich verwendet sein, sie dienen dann aber nur zu einer Pegeleinstellung. Vorteilhaft sind dabei optisch verkoppelte optische Verstärker. Eine besonders vorteilhafte Ausführung optisch verkoppelter optischer Verstärker ist angegeben. Überdies sind vorteilhafte Schaltanordnungen mit programmierbaren optischen Filtern angegeben.  
Anwendung für Empfängerkomponenten bei optischem Wellenlängenmultiplex.



DE 43 26 522 A 1

Die Erfindung betrifft programmierbare optische Filter und optische Schaltungsanordnungen.

Für optische Netze mit Mehrfachdiensten werden polarisationsunabhängige Filter benötigt, die abstimmbar sind und/oder gleichzeitig mehrere verschiedene Wellenlängen selektieren können.

Aus IEEE Lasers and Electro-Optics Soc., 1992, Ann. Meet. Nov. 16—19, 1992, Boston, paper OTA2.5, S. 690—691 ist ein programmierbares optisches Filter für mehrere verschiedene optische Wellenlängen bekannt, die einen optischen Demultiplexer zur räumlichen Trennung der Wellenlängen voneinander und je einen steuerbaren optischen Verstärker pro Wellenlänge zur gesteuerten Verstärkung des Lichts dieser Wellenlänge unabhängig von den anderen Wellenlängen aufweist, wobei die optischen Verstärker in Form von auf einem Substrat integrierten streifenartigen optischen Wellenleitern, in denen das geführte Licht optisch verstärkbar ist, bestehen.

Andere bekannte Filter mit mehrfacher Wellenlängenselektion arbeiten meist nach dem akustooptischen Prinzip. So ist aus Broadband (FOC/LAN) '90, Baltimore, Sept. 1990, S. 307—313 ein schnell schaltbares, polarisationsabhängiges Filter zur Selektion mehrerer optischer Kanäle aus einem Wellenlängenkamm mit Kanalabständen herunter bis zu 1 nm bekannt.

Abstimmbare Filter sind auch mit einer Vielzahl von Anordnungen realisierbar. Beispielsweise geht aus IEEE Photon. Technol. Lett., Vol. PTL-2, No. 6, 1990, S. 441—443 ein thermisch abstimmbares polarisationsunabhängiges Filter für den extrem engen 0,1 nm-Kanalabstand in planarer SiO<sub>2</sub>-Technik hervor.

Der im Anspruch 1 angegebenen Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein schnell schaltbares polarisationsunabhängiges programmierbares optisches Filter bereitzustellen.

Bevorzugte und vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Filters gehen aus den Ansprüchen 2 bis 7 hervor.

Bei dem erfindungsgemäßen Filter kann die Einrichtung zur räumlichen Trennung der optischen Wellenlängen ein Wellenlängendemultiplexer beispielsweise nach Art eines planaren Spektrographen oder eines Phased arrays ausgebildet sein, beispielsweise in InP-Technik, in SiO<sub>2</sub>-Technik oder Si/Ge-Technik. Ein Absorptionsmodulator oder ein Schalter, beispielsweise ein Richtkoppler oder ein Interferometer, können in III/V-Halbleitertechnologie, auf Polymerbasis oder auf LiNbO<sub>3</sub>-Basis ausgeführt sein. Sind optische Verstärker vorgesehen, so können auch diese in III/V-Halbleitertechnologie ausgeführt sein. Die Absorptionsmodulatoren oder Schalter werden durch Verändern des optischen Brechungsindex durch Beeinflussung der Verteilung der elektrischen Ladungsträger durch Anlegen einer elektrischen Spannung, Injektion von elektrischem Strom oder Injektion von Licht, beispielsweise senkrecht zur Verlaufsrichtung des Signallichts mit den genannten Wellenlängen gesteuert.

Falls optische Verstärker zum Einsatz kommen, können die Verstärker vorteilhafterweise optisch verkoppelt ausgeführt werden. In diesem Fall läßt sich durch entsprechende Ansteuerung der Elektroden zur Strominjektion ein sehr enger Wellenlängenabstand bei der Kanalselektion bis hin zu kontinuierlicher Abstimmung des Filters realisieren.

Der Anspruch 9 ist auf eine vorteilhafte Ausführungs-

form eines derartigen programmierbaren optischen Filters mit optisch verkoppelten optischen Verstärkern gerichtet. Diese Ausführungsform ist sowohl für ein Filter mit optischen Verstärkern allein als auch für ein Filter nach den Ansprüchen 4 oder 5 realisierbar.

Die aus den Absorptionsmodulatoren oder Schaltern bzw. optischen Verstärkern austretenden optischen Wellenlängen können durch eine Einrichtung zum Zusammenführen dieser Wellenlängen, beispielsweise auf einen gemeinsamen Wellenleiter, z. B. eine Glasfaser, zusammengeführt werden. Darauf ist Anspruch 13 gerichtet.

Es können auch Wellenlängenkanäle detektiert werden. Beispielsweise kann ein Absorptionsmodulator, Schalter oder optischer Verstärker, der gerade nicht zur Übertragung durch das Filter verwendet wird, bei entsprechend geeignetem Aufbau als Photodetektor benutzt werden, wodurch eine sog. Drop-Funktion realisiert ist. Darauf ist Anspruch 7 gerichtet.

Die Ansprüche 14 bis 19 sind auf vorteilhafte optische Schaltungsanordnungen gerichtet, die mit programmierbaren optischen Filtern, insbesondere den erfindungsgemäßen Filtern, in vorteilhafter Weise realisierbar sind.

Die im Anspruch 14 angegebene optische Schaltungsanordnung ist ein optisches Cross-connect, das optische Kanäle zwischen zwei Datenleitungen austauscht. Dieses Cross-connect ist mit vier programmierbaren Filtern und optischen Leistungsteilern realisierbar. Die Cross-connect-Funktion erhält man durch komplementäre Ansteuerung der Filter, d. h. die von einem Filter durchgelassenen Signale werden vom anderen Filter abgeblockt.

Es kann auch eine Add-drop-Funktion realisiert werden, bei dem eine von der Einrichtung zur räumlichen Trennung der Wellenlängen des programmierbaren Filters von dem der betreffenden Wellenlänge zugeordneten Absorptionsmodulator, Schalter oder optischen Verstärker des Filters ausgeblendet wird und diese Wellenlänge oder eine andere Wellenlänge nach diesem Modulator, Schalter oder Verstärker wieder hinzugefügt wird, beispielsweise vor oder nach der Einrichtung zum Zusammenführen der Wellenlängen des Filters.

Anspruch 15 ist auf einen Add-drop-Multiplexer gerichtet, bei dem die Add-drop-Funktion mit einer Art Cross-connect realisiert ist. Die Ansprüche 16 und 17 sind auf bevorzugte und vorteilhafte Ausgestaltungen der Anordnung nach Anspruch 15 gerichtet.

Mit einem programmierbaren optischen Filter, insbesondere einem erfindungsgemäßen Filter, läßt sich auch ein abstimmbarer Empfänger, der Wellenlängendemultiplex und Zeitmultiplex durchführt, realisieren. Anspruch 18 ist auf einen derartigen Empfänger gerichtet. Durch elektrische Ansteuerung eines Absorptionsmodulators, Schalters oder optischen Verstärkers des Filters mit einem Zeitdemultiplexsignal kann aus dem gewählten Wellenlängenkanal ein Zeitmultiplexkanal ausgewählt werden.

Anspruch 19 ist auf eine optische Schaltungsanordnung gerichtet, die ein erweitertes optisches Cross-connect darstellt. Bei dieser Schaltungsanordnung ist zwischen einer Einrichtung zum räumlichen Trennen der optischen Wellenlängen und der Einrichtung zur Zusammenführung der optischen Wellenlängen eine aus mehreren Raumschaltmatrizen bestehende Raumschaltmatrix-Anordnung angeordnet, wobei jede Raumschaltmatrix beispielsweise mit Richtkopplern oder Leistungsteilern und optischen Verstärkern oder Interferometern realisierbar ist. Die einer bestimmten Wellenlänge zugehöri-

gen Signale einer Anzahl  $L$  Eingänge der Einrichtung zur räumlichen Trennung der Wellenlängen werden auf die Eingänge der dieser Wellenlänge entsprechenden Schaltmatrix zugeführt. Von den Ausgängen jeder Schaltmatrix werden die Signale einer Anzahl  $L'$  Ausgänge der Einrichtung zum Zusammenführen der Wellenlängen zugeführt, wobei die Zuordnung durch die Stellung der betreffenden Schaltmatrix bestimmt wird. Es können auch Wellenlängenkanäle detektiert werden. Beispielsweise kann ein Tor der Schaltmatrix, das gerade nicht zur Übertragung durch das Filter verwendet wird, als Photodetektor verwendet werden, um mit geringem Aufwand eine Drop-Funktion zu realisieren. Falls ein Ausgang dieser Schaltanordnung nicht verwendet wird, kann ein Tor einer Schaltmatrix fest mit einem Photodetektor verbunden sein, um die Drop-Funktion zu realisieren.

Die Wahl der Bauform für die Schaltanordnung kann je nach Aufgabenstellung erfolgen. Eine Schaltanordnung für wenige Leitungen, beispielsweise nur zwei Leitungen, ist vorteilhaft mit Leistungsteilern zu realisieren, da der Pegelverlust durch Leistungsteilung nicht sehr hoch ist. Sollen Kanäle zwischen mehr als zwei Leitungen ausgetauscht werden, ist die Schaltanordnung nach Anspruch 19 vorteilhaft.

Die Schaltungsanordnung nach Anspruch 19 kann auch als programmierbares Filter aufgefaßt oder betrieben werden.

Sämtliche Schaltanordnungen können je nach gewähltem Materialsystem zumindest teilweise monolithisch auf einem gemeinsamen Substrat integriert werden. Beispielsweise können Demultiplexer nach dem Phase array-Prinzip und Schalter nach dem Mach-Zehnder-Interferometerprinzip vorteilhaft auf gemeinsamem Substrat mit organischen Polymeren oder III/V-Verbindungshalbleitern hergestellt werden, da sie sehr ähnliche Wellenleiterstrukturen benötigen. Auch optische Verstärker und Modulatoren oder Interferometer lassen sich auf einem Substrat, beispielsweise in Zeilenform, integrieren. Am Eingang und Ausgang monolithisch integrierter Strukturen sind Taper zur Anpassung des optischen Feldes nützlich.

Die Erfindung wird in der nachfolgenden Beschreibung anhand der Figuren beispielhaft näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 in schematischer Darstellung eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen programmierbaren optischen Filters,

Fig. 2 einen Querschnitt durch mehrere optisch verkoppelte optische Verstärker für ein programmierbares optisches Filter,

Fig. 3 in schematischer Darstellung ein mit programmierbaren optischen Filtern realisiertes optisches Cross-connect, bei dem optische Leistungsteiler verwendet sind,

Fig. 4 in schematischer Darstellung einen mit programmierbaren optischen Filtern realisierten Add-drop-Multiplexer,

Fig. 5 in schematischer Darstellung einen mit einem programmierbaren Filter realisierten abstimmbaren optischen Empfänger, und

Fig. 6 in schematischer Darstellung ein mit optischen Raumschaltmatrizen realisiertes optisches Cross-connect mit mehr als zwei Eingängen und mehr als zwei Ausgängen.

Das programmierbare optische Filter 1 nach Fig. 1 für mehrere verschiedene optische Wellenlängen  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_K$  ( $K =$  ist eine beliebige vorgebbare natürliche Zahl)

weist die Einrichtung 11 zur räumlichen Trennung dieser Wellenlängen  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_K$  voneinander auf, die über einen Eingang 10 zugeführt werden. Die Einrichtung 11 weist auf der Ausgangsseite  $K$  nicht dargestellte Ausgänge auf, von denen jeder zum Austritt einer der Wellenlängen  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_K$  vorgesehen ist. Im dargestellten Beispiel ist  $K = 4$  gewählt. Die Einrichtung 11 kann beispielsweise aus einem planaren optischen Spektrographen bestehen.

Jede Wellenlängen  $\lambda_i$  ( $i = 1, 2, \dots, K$ ) ist erfindungsgemäß einem dieser Wellenlängen  $\lambda_i$  allein zugeordneten optischen Absorptionsmodulator oder optischen Schalter  $2_i$  zugeführt. Ein Schalter  $2_i$  kann aus einem optischen Richtkoppler oder einem Interferometer, beispielsweise vom Mach-Zehnder-Typ, bestehen.

Ein Absorptionsmodulator oder optischer Schalter  $2_i$  hat den Vorzug, daß er polarisationsunabhängig und schnell schaltbar ist.

Je nach Schaltzustand des Absorptionsmodulators oder optischen Schalters  $2_i$  wird die betreffende Wellenlänge  $\lambda_i$  durchgelassen oder nicht. Die Absorptionsmodulatoren bzw. Schalter  $2_i$  sind unabhängig voneinander schaltbar, so daß ein programmierbares optisches Filter vorliegt.

Der Schaltzustand jedes Absorptionsmodulators bzw. optischen Schalters  $2_i$  wird durch Verändern eines optischen Brechungsindex durch Beeinflussung der Verteilung der elektrischen Ladungsträger durch Anlegen einer elektrischen Spannung, Injektion von elektrischem Strom oder Injektion von Licht, beispielsweise senkrecht zur Ausbreitungsrichtung des Lichts der betreffenden Wellenlänge, gesteuert.

Jeder Modulator bzw. Schalter  $2_i$  weist einen Ausgang auf, der mit je einem Eingang der Einrichtung 12 verbunden ist, die zum Zusammenführen der aus den Modulatoren bzw. Schaltern  $2_i$  räumlich voneinander getrennt austretenden Wellenlängen  $\lambda_i$  auf einen Ausgang 20 der Einrichtung 12 dient. An diesem Ausgang 20 treten die Wellenlängen aus, die von den Modulatoren bzw. Schaltern jeweils durchgelassen worden sind.

Mit den bisher beschriebenen Bauteilen ist ein komplettes programmierbares optisches Filter realisiert.

Es kann zweckmäßig sein, insbesondere für eine Pegelregulierung für jede aus einem Ausgang der Einrichtung 11 austretende Wellenlänge  $\lambda_i$  einen steuerbaren optischen Verstärker  $3_i$  zur gesteuerten Verstärkung des dem Modulator bzw. Schalter  $2_i$  zugeführten oder aus diesem Modulator bzw. Schalter  $2_i$  austretenden Lichts der diesem Modulator bzw. Schalter  $2_i$  zugeordneten Wellenlänge  $\lambda_i$  vorzusehen. In der Fig. 1 sind solche optische Verstärker  $3_i$  zwischen der Einrichtung 11 und den Modulatoren bzw. Schaltern  $2_i$  angeordnet.

Besonders zweckmäßig kann es sein, wenn ein Modulator bzw. Schalter  $2_i$  oder auch ein optischer Verstärker  $3_i$  so ausgebildet ist, daß er bei zeitweiliger Nichtbenutzung zur Übertragung des Lichts der zugeordneten Wellenlänge  $\lambda_i$  als Photodetektor des ihm zugeführten Lichts dieser zugeordneten Wellenlänge  $\lambda_i$  benutzt ist. Diese Ausführung ist für eine Add-drop-Funktion vorteilhaft.

Vorteilhaft ist es auch, wenn die optischen Verstärker  $3_i$  optisch verkoppelt ausgeführt sind. Dazu weisen gemäß Fig. 2 die optischen Verstärker  $3_i$  einen auf einem Substrat 100 integrierten gemeinsamen Schichtwellenleiter 30 auf und jeder Verstärker  $3_i$  weist eine auf einer Flachseite des Schichtwellenleiters 30 vorgesehene separate Elektrode  $31_i$  zur unabhängigen lokalen Steuerung der optischen Verstärkung des im Schichtwellen-

leiter 30 geführten Lichts durch lokale Injektion von Ladungsträgern in den Schichtwellenleiter 30 auf.

Diese Ausführung ist nicht auf das erfindungsgemäße Filter beschränkt, sondern kann auch auf das eingangs näher beschriebene bekannte programmierbare optische Filter mit nur optischen Verstärkern angewendet werden.

Bei der Anordnung nach Fig. 2 ist zweckmäßigerweise unter jeder Elektrode 31<sub>i</sub> eines Verstärkers 3<sub>i</sub> ein pn-oder pin-Übergang vorgesehen.

Bei der Ausführung nach Fig. 2 weist der Schichtwellenleiter 30 eine wellenleitende Schicht 32 und eine zwischen den Elektroden 31<sub>i</sub> und der wellenleitenden Schicht 32 angeordnete und an die wellenleitende Schicht 32 angrenzende Mantelschicht 33 mit einer im Vergleich zu einer Brechzahl  $n_1$  der wellenleitenden Schicht 32 kleineren Brechzahl  $n_3$  auf. Überdies ist in der Mantelschicht 33 unter jeder streifenartigen Elektrode 31<sub>i</sub> je ein an die wellenleitende Schicht 32 angrenzender streifenartiger Bereich 34<sub>i</sub> mit einer Brechzahl  $n_2$  angeordnet, die größer als die Brechzahl  $n_3$  der Mantelschicht 33 und vorzugsweise höchstens gleich der Brechzahl  $n_1$  der wellenleitenden Schicht 32 ist.

Die Längsrichtung der streifenartigen Elektroden 31<sub>i</sub> und der streifenartige Bereiche 34<sub>i</sub> steht in der Fig. 2 senkrecht zur Zeichenebene und das in der wellenleitenden Schicht 32 geführte Licht breitet sich ebenfalls senkrecht zur Zeichenebene aus.

Beispielsweise sind bei der Ausführungsform nach Fig. 2 die metallischen streifenartigen Elektroden 31<sub>i</sub> auf streifenartigen Bereichen 35<sub>i</sub> aus p-dotiertem InGaAs, die auf die Mantelschicht 33 aus p-dotiertem InP aufgebracht sind, angeordnet. Die streifenartigen Bereiche 34<sub>i</sub> bestehen aus p-dotiertem 1,30  $\mu\text{m}$ -InGaAsP. Die wellenleitende Schicht 32 besteht aus 1,55  $\mu\text{m}$ -InGaAsP. Das Substrat 100 besteht aus n-dotiertem InP und weist auf der Unterseite einen Metallkontakt 36 für n-Dotierung auf. Der Metallkontakt 36 wird beim Betrieb beispielsweise geerdet und den Elektroden 31<sub>i</sub> Steuersignale zugeführt.

Das in Fig. 3 gezeigte erfindungsgemäße Cross-connect weist vier vorzugsweise erfindungsgemäße programmierbare optische Filter 1<sub>1</sub>, 1<sub>2</sub>, 1<sub>3</sub> und 1<sub>4</sub> mit jeweils einem optischen Eingang 10<sub>1</sub>, 10<sub>2</sub>, 10<sub>3</sub> bzw. 10<sub>4</sub> zum Zuführen mehrerer optischer Wellenlängen  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_K$  und jeweils einem Ausgang 20<sub>1</sub>, 20<sub>2</sub>, 20<sub>3</sub>, ... bzw. 20<sub>4</sub> zum Austritt der vom Filter 1<sub>1</sub>, 1<sub>2</sub>, 1<sub>3</sub> bzw. 1<sub>4</sub> wahlweise durchgelassenen Wellenlängen auf. Die Eingänge 10<sub>1</sub> und 10<sub>2</sub> eines ersten Paares Filter 1<sub>1</sub> und 1<sub>2</sub> und die Eingänge 10<sub>3</sub> und 10<sub>4</sub> des zweiten Paares Filter 1<sub>3</sub> und 1<sub>4</sub> sind durch optische Leistungsteiler 10<sub>12</sub> bzw. 10<sub>34</sub>, beispielsweise Wellenleitergabeln, optisch miteinander verbunden. Der Ausgang 20<sub>1</sub> des Filters 1<sub>1</sub> des ersten Paares ist durch einen in umgekehrter Richtung betriebenen optischen Leistungsteiler 20<sub>12</sub>, beispielsweise eine Wellenleitergabel, optisch mit dem Ausgang 20<sub>3</sub> des Filters 1<sub>3</sub> des zweiten Paares verbunden. Der Ausgang 20<sub>2</sub> des anderen Filters 1<sub>2</sub> des ersten Paares ist durch einen umgekehrt betriebenen Leistungsteiler 20<sub>34</sub>, beispielsweise eine Wellenleitergabel, optisch mit dem Ausgang 20<sub>4</sub> des anderen Filters 1<sub>4</sub> des zweiten Paares verbunden. Die Cross-connect-Funktion erhält man dadurch, daß die Filter 1<sub>2</sub> und 1<sub>4</sub> komplementär zu den Filtern 1<sub>1</sub> und 1<sub>3</sub> angesteuert werden, d. h. die von den Filtern 1<sub>1</sub> und 1<sub>3</sub> durchgelassenen Wellenlängen werden von den Filtern 1<sub>2</sub> und 1<sub>4</sub> abgeblockt und umgekehrt.

Der in Fig. 4 gezeigte Add-Drop-Multiplexer weist zwei vorzugsweise erfindungsgemäße programmierba-

re optische Filter 1<sub>1</sub> und 1<sub>2</sub> mit jeweils einem optischen Eingang 10<sub>1</sub> bzw. 10<sub>2</sub> zum Zuführen mehrerer optischer Wellenlängen  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_K$  und jeweils einem Ausgang 20<sub>1</sub> bzw. 20<sub>2</sub> zum Austritt der vom Filter 1<sub>1</sub> bzw. 1<sub>2</sub> wahlweise durchgelassenen Wellenlängen auf. Die Eingänge 10<sub>1</sub> und 10<sub>2</sub> der beiden Filter 1<sub>1</sub> und 1<sub>2</sub> sind durch einen optischen Leistungsteiler 10<sub>12</sub>, beispielsweise eine optische Wellenleitergabel, optisch miteinander verbunden. Dem Ausgang 20<sub>1</sub> des Filters 1<sub>1</sub> ist wahlweise eine auswählbare optische Wellenlänge zuführbar, die beispielsweise von einem abstimmbaren Laser 4 erzeugbar ist. Die Zuführung erfolgt beispielsweise durch einen umgekehrt betriebenen optischen Leistungsteiler 20<sub>12</sub>, beispielsweise eine optische Wellenleitergabel. Die aus dem Ausgang 20<sub>2</sub> des anderen Filters 1<sub>2</sub> austretenden Wellenlängen sind einem Photodetektor 5 zugeführt, beispielsweise durch einen optischen Wellenleiter.

Der erfindungsgemäße abstimmbare optische Empfänger nach Fig. 5 weist ein vorzugsweise erfindungsgemäßes programmierbares optisches Filter 1 mit zumindest einem Eingang 10 zum Zuführen mehrerer optischer Wellenlängen  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_K$  und einem Ausgang 20 zum Austritt von vom Filter 1 durchgelassenen Wellenlängen sowie einen Photodetektor 5 auf, dem die aus dem Ausgang 20 des Filters 1 ausgetretenen Wellenlängen zugeleitet sind. Durch elektrische Ansteuerung eines Absorptionsmodulators, Schalters bzw. optischen Verstärkers des Filters mit einem Zeitdemultiplexsignal kann aus dem gewählten Wellenlängenkanal ein Zeitmultiplexkanal ausgewählt werden.

Bei dem erfindungsgemäßen Mehrfach-Cross-connect nach Fig. 6 ist eine optische Einrichtung 110 zur räumlichen Trennung einer Anzahl K optischer Wellenlängen  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_K$ , die einer Anzahl L Eingängen 110<sub>1</sub>, 110<sub>2</sub>, 110<sub>3</sub>, ..., 110<sub>L</sub> der Einrichtung 110 zuzuführen sind, vorgesehen, wobei die Einrichtung 110 eine dem Produkt  $L \cdot K$  aus der Anzahl L der Eingänge 110<sub>1</sub>, 110<sub>2</sub>, ..., 110<sub>L</sub> und der Anzahl K der Wellenlängen  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_K$  entsprechende Anzahl L · K Ausgänge zum Austritt der räumlich getrennten Wellenlängen aufweist und derart ausgebildet ist, daß jede der Wellenlängen  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_K$ , die allen Eingängen 110<sub>1</sub>, 110<sub>2</sub>, ..., 110<sub>L</sub> zugeführt ist, auf eine der Anzahl L dieser Eingänge entsprechende Zahl L Ausgänge übertragen wird, und daß voneinander verschiedene Wellenlängen, die allen Eingängen zugeführt sind, an voneinander verschiedene Ausgänge übertragen werden. Es ist eine der Anzahl K der Wellenlängen  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_K$  entsprechende Anzahl K optischer Raumschaltmatrizen 130<sub>1</sub>, 130<sub>2</sub>, ..., 130<sub>K</sub> mit jeweils einer Anzahl L Eingängen 130<sub>11</sub>, 130<sub>12</sub>, ..., 130<sub>1L</sub> bzw. 130<sub>21</sub>, 130<sub>22</sub>, ..., 130<sub>2L</sub> ... bzw. 130<sub>K1</sub>, 130<sub>K2</sub>, ..., 130<sub>KL</sub>, die gleich der Anzahl L der Eingänge der Einrichtung 110 ist, und mit einer bestimmten Anzahl L' Ausgängen 130'<sub>11</sub>, 130'<sub>12</sub>, ..., 130'<sub>1L</sub> bzw. 130'<sub>21</sub>, 130'<sub>22</sub>, ..., 130'<sub>2L</sub> ... bzw. 130'<sub>K1</sub>, 130'<sub>K2</sub>, ..., 130'<sub>KL</sub> vorgesehen, wobei jede Raumschaltmatrix derart ausgebildet ist, daß jeder Eingang dieser Matrix auf jeden beliebigen Ausgang dieser Matrix schaltbar ist, und wobei jeder Eingang jeder Raumschaltmatrix mit je einem Ausgang der Einrichtung 110 verbunden ist, der diesem Eingang allein zugeordnet ist.

Außerdem ist eine Einrichtung 120 zum Zusammenführen von aus sämtlichen Ausgängen der Raumschaltmatrizen 130<sub>1</sub>, 130<sub>2</sub>, ..., 130<sub>K</sub> austretenden Wellenlängen auf eine der Anzahl L' der Ausgänge jeder Raumschaltmatrix entsprechende Anzahl L' Ausgänge 120'<sub>1</sub>, 120'<sub>2</sub>, ..., 120'<sub>L</sub>, die allen Raumschaltmatrizen 130<sub>1</sub>, 130<sub>2</sub>, ..., 130<sub>K</sub> gemeinsam zugeordnet sind, vorgesehen. Diese Einrichtung 120 weist eine dem Produkt  $L' \cdot K$  aus der

Anzahl K der Raumschaltmatrizen und der Anzahl L' der Ausgänge jeder Raumschaltmatrix entsprechende Anzahl Eingänge  $120_{11}$ ,  $120_{12}$ ,  $120_{1L'}$ ,  $120_{21}$ ,  $120_{22}$ , ...  $120_{2L'}$ , ...  $120_{K1}$ ,  $120_{K2}$ , ...  $120_{KL'}$  auf, deren jeder mit nur einer Raumschaltmatrix durch einen Ausgang dieser Matrix, der diesem Eingang allein zugeordnet ist, verbunden ist.

Eine optische Raumschaltmatrix ist beispielsweise mit optischen Richtkopplern oder Leistungsteilern und optischen Verstärkern oder Interferometern realisierbar. Es können auch Wellenlängenkanäle detektiert werden, wenn beispielsweise ein Tor der Schaltmatrix, das gerade nicht zur Übertragung verwendet wird, als Photodetektor betrieben wird, wodurch mit geringem Aufwand eine Drop-Funktion realisiert ist. Falls ein Ausgang des Cross-connect nicht verwendet wird, kann ein Tor der betreffenden Schaltmatrix fest mit einem Photodetektor verbunden sein, um die Drop-Funktion zu realisieren. Das Cross-connect nach Fig. 6 ist vorteilhaft, wenn Kanäle zwischen mehr als zwei Leitungen ausgetauscht werden.

#### Patentansprüche

1. Programmierbares optisches Filter für mehrere verschiedene optische Wellenlängen ( $\lambda_i$ ,  $i = 1, 2, \dots$ ), bestehend aus
  - einer Einrichtung (11) zur räumlichen Trennung der Wellenlängen voneinander, und
  - je einer steuerbaren Einrichtung (2i) pro Wellenlänge zur gesteuerten Beeinflussung des Lichts dieser Wellenlänge ( $\lambda_i$ ) unabhängig von den anderen Wellenlängen, dadurch gekennzeichnet,
  - daß eine Einrichtung (2i) zur gesteuerten Beeinflussung des Lichts dieser Einrichtung (2i) zugeordneten Wellenlänge ( $\lambda_i$ ) aus einem optischen Absorptionsmodulator oder einem optischen Schalter besteht.
2. Filter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein optischer Schalter (2i) aus einem optischen Richtkoppler besteht.
3. Filter nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß ein optischer Schalter (2i) aus einem Interferometer besteht.
4. Filter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein steuerbarer optischer Verstärker (3i) zur gesteuerten Verstärkung des dem Modulator oder Schalter (2i) zugeführten oder aus diesem austretenden Licht der diesem Modulator oder Schalter (2i) zugeordneten Wellenlänge ( $\lambda_i$ ) vorgesehen ist.
5. Filter nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß ein optischer Verstärker (3i) zwischen der Einrichtung (11) zur räumlichen Trennung der Wellenlängen voneinander und einem Absorptionsmodulator oder Schalter (2i) angeordnet ist.
6. Filter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Absorptionsmodulator oder Schalter (2i) in einen Übertragungszustand, bei dem das Licht der dem Modulator oder Schalter (2i) zugeführten Wellenlänge ( $\lambda_i$ ) übertragen wird, und einem gesperrten Zustand, bei dem der Modulator oder Schalter (2i) für das Licht dieser Wellenlänge ( $\lambda_i$ ) undurchlässig ist, schaltbar ist.
7. Filter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Modulator

oder Schalter (2i) und/oder optischer Verstärker (3i) bei zeitweiliger Nichtbenutzung zur Übertragung des Lichts der zugeordneten Wellenlänge ( $\lambda_i$ ) als Photodetektor zum Detektieren des ihm zugeführten Lichts dieser zugeordneten Wellenlänge ( $\lambda_i$ ) benutzt ist.

8. Programmierbares optisches Filter für mehrere verschiedene optische Wellenlängen ( $\lambda_i$ ,  $i = 1, 2, \dots$ ), bestehend aus

- einer Einrichtung zur räumlichen Trennung der Wellenlängen ( $\lambda_i$ ) voneinander, und
- je einem steuerbaren optischen Verstärker (3i) pro Wellenlänge ( $\lambda_i$ ) zur gesteuerten Beeinflussung des Lichts dieser Wellenlänge ( $\lambda_i$ ) unabhängig von den anderen Wellenlängen, wobei die optischen Verstärker (3i) in Form von auf einem Substrat (100) integrierten streifenartigen optischen Wellenleitern ausgebildet sind, in denen das geführte Licht durch Injektion elektrischer Ladungsträger optisch verstärkbar ist, insbesondere Filter nach Anspruch 4 oder Anspruch 4 und einem der Ansprüche dadurch gekennzeichnet,
- daß die optischen Verstärker (3i) einen auf dem Substrat (100) integrierten gemeinsamen Schichtwellenleiter (30) aufweisen, und
- daß jeder Verstärker (3i) eine auf einer Flachseite des Schichtwellenleiters (30) vorgesehene separate streifenartige Elektrode (31i) zur unabhängigen lokalen Steuerung der optischen Verstärkung des im Schichtwellenleiter (30) geführten Lichts durch lokale Injektion von Ladungsträgern in den Schichtwellenleiter (30) aufweist.

9. Filter nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen jeder Elektrode (31i) eines Verstärkers (3i) und dem Schichtwellenleiter (30) ein pn- oder pin-Übergang vorgesehen ist.

10. Filter nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Schichtwellenleiter (30) eine wellenleitende Schicht (32) und eine zwischen den Elektroden (31i) und der wellenleitenden Schicht (32) angeordnete und an die wellenleitende Schicht (32) angrenzende Mantelschicht (33) mit einer im Vergleich zu einer Brechzahl ( $n_1$ ) der wellenleitenden Schicht (32) kleineren Brechzahl ( $n_3$ ) aufweist.

11. Filter nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß in der Mantelschicht (33) unter jeder streifenartigen Elektrode (31i) je ein an die wellenleitende Schicht (32) angrenzender streifenartiger Bereich (34i) mit einer Brechzahl ( $n_2$ ) angeordnet ist, die größer als die Brechzahl ( $n_3$ ) der Mantelschicht (33) ist.

12. Filter nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Brechzahl ( $n_3$ ) eines streifenartigen Bereiches (34) höchstens gleich der Brechzahl ( $n_1$ ) der wellenleitenden Schicht (32) ist.

13. Filter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Einrichtung (12) zum Zusammenführen von aus den Absorptionsmodulatoren oder Schaltern (2i) räumlich voneinander getrennt austretenden Wellenlängen ( $\lambda_i$ ) vorgesehen ist.

14. Optische Schaltungsanordnung, gekennzeichnet durch, vier programmierbare optische Filter (1, 12, 13, 14) mit jeweils einem optischen Eingang (10<sub>1</sub>, 10<sub>2</sub>, 10<sub>3</sub>, 10<sub>4</sub>) zum Zuführen mehrerer optischer Wellen-

längen ( $\lambda_i$ ,  $i = 1, 2, \dots$ ) und jeweils einem Ausgang (20<sub>1</sub>, 20<sub>2</sub>, 20<sub>3</sub>, 20<sub>4</sub>) zum Austritt der vom Filter (1<sub>1</sub>, 1<sub>2</sub>, 1<sub>3</sub>, 1<sub>4</sub>) wahlweise durchgelassenen Wellenlängen, wobei

die Eingänge (10<sub>1</sub>, 10<sub>2</sub>) eines ersten Paares (1<sub>1</sub>, 1<sub>2</sub>) 5 und die Eingänge (10<sub>3</sub>, 10<sub>4</sub>) des zweiten Paares (1<sub>3</sub>, 1<sub>4</sub>) dieser vier optischen Filter (1<sub>1</sub>, 1<sub>2</sub>, 1<sub>3</sub>, 1<sub>4</sub>) jeweils optisch miteinander verbunden sind, und wobei der Ausgang (20<sub>1</sub>) eines Filters (1<sub>1</sub>) des ersten Paares (1<sub>1</sub>, 1<sub>2</sub>) optisch mit dem Ausgang (20<sub>3</sub>) eines 10 Filters (1<sub>3</sub>) des zweiten Paares (1<sub>3</sub>, 1<sub>4</sub>) und der Ausgang (20<sub>2</sub>) des anderen Filters (1<sub>2</sub>) des ersten Paares (1<sub>1</sub>, 1<sub>2</sub>) optisch mit dem Ausgang (20<sub>4</sub>) des anderen Filters (1<sub>4</sub>) des zweiten Paares (1<sub>3</sub>, 1<sub>4</sub>) verbunden sind. 15

15. Optische Schaltanordnung, gekennzeichnet durch, zwei programmierbare optische Filter (1<sub>1</sub>, 1<sub>2</sub>) mit jeweils einem optischen Eingang (10<sub>1</sub>, 10<sub>2</sub>) zum Zuführen mehrerer optischer Wellenlängen ( $\lambda_i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots$ ) und jeweils einem Ausgang (20<sub>1</sub>, 20<sub>2</sub>) zum Austritt der vom Filter (1<sub>1</sub>, 1<sub>2</sub>) wahlweise durchgelassenen Wellenlängen, wobei die Eingänge (10<sub>1</sub>, 10<sub>2</sub>) der beiden Filter (1<sub>1</sub>, 1<sub>2</sub>) optisch miteinander verbunden sind, und wobei dem Ausgang (20<sub>1</sub>) eines (1<sub>1</sub>) der beiden Filter (1<sub>1</sub>, 1<sub>2</sub>) wahlweise 25 eine auswählbare optische Wellenlänge zuführbar ist.

16. Anordnung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die auswählbare optische Wellenlänge durch einen gesonderten optischen Sender (4) 30 erzeugt ist.

17. Anordnung nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, daß die aus dem Ausgang (20<sub>2</sub>) des anderen (1<sub>2</sub>) der beiden Filter (1<sub>1</sub>, 1<sub>2</sub>) austretenden Wellenlängen einem Photodetektor (5) zugeführt 35 sind.

18. Optische Schaltanordnung, gekennzeichnet durch,

— ein programmierbares optisches Filter (1) mit zumindest einem Eingang (10) zum Zuführen 40 mehrerer optischer Wellenlängen ( $\lambda_i$ ) und zumindest einem Ausgang (20) zum Austritt von vom Filter (1) durchgelassenen Wellenlängen, und

— einen Photodetektor (5), dem die aus dem 45 Ausgang (20) des Filters (1) ausgetretenen Wellenlängen zugeleitet sind.

19. Optische Schaltanordnung, dadurch gekennzeichnet,

— daß eine optische Einrichtung (110) zur 50 räumlichen Trennung einer Anzahl (K) optischer Wellenlängen ( $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_K$ ), die einer Anzahl (L) Eingängen (110<sub>1</sub>, 110<sub>2</sub>, ... 110<sub>L</sub>) der Einrichtung (110) zuzuführen sind, vorgesehen ist, wobei die Einrichtung (110) eine dem Pro- 55 dukt (L · K) aus der Anzahl (L) der Eingänge (110<sub>1</sub>, 110<sub>2</sub>, ... 110<sub>L</sub>) und der Anzahl (K) der Wellenlängen ( $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_K$ ) entsprechende Anzahl (L · K) Ausgänge zum Austritt der räumlich getrennten Wellenlängen aufweist und 60 derart ausgebildet ist, daß jede der Wellenlängen ( $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_K$ ), die allen Eingängen 110<sub>1</sub>, 110<sub>2</sub>, ... 110<sub>L</sub> zugeführt ist, auf eine der Anzahl (L) dieser Eingänge entsprechende Zahl (L) Ausgänge übertragen wird, und daß von- 65 einander verschiedene Wellenlängen, die allen Eingängen zugeführt sind, auf voneinander verschiedene Ausgänge übertragen werden,

— daß eine der Anzahl (K) der Wellenlängen ( $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_K$ ) entsprechende Anzahl (K) optischer Raumschaltmatrizen (130<sub>1</sub>, 130<sub>2</sub>, ... 130<sub>K</sub>) mit jeweils einer Anzahl (L) Eingängen (130<sub>11</sub>, 130<sub>12</sub>, ... 130<sub>1L</sub>; 130<sub>21</sub>, 130<sub>22</sub>, ... 130<sub>2L</sub>; ... 130<sub>K1</sub>, 130<sub>K2</sub>, ... 130<sub>KL</sub>), die gleich der Anzahl (L) der Eingänge der Einrichtung (110) zur räumlichen Trennung der Wellenlängen ( $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_K$ ) ist, und mit einer bestimmten Anzahl (L') Ausgängen (130'<sub>11</sub>, 130'<sub>12</sub>, ... 130'<sub>1L'</sub>; 130'<sub>21</sub>, 130'<sub>22</sub>, ... 130'<sub>2L'</sub>; ... 130'<sub>K1</sub>, 130'<sub>K2</sub>, ... 130'<sub>KL'</sub>) vorgesehen ist, wobei jede Raumschaltmatrix derart ausgebildet ist, daß jeder Eingang dieser Matrix auf jeden beliebigen Ausgang dieser Matrix schaltbar ist, und wobei jeder Eingang jeder Raumschaltmatrix mit je einem Ausgang der Einrichtung (110) zur räumlichen Trennung der Wellenlängen verbunden ist, der diesem Eingang allein zugeordnet ist, und

— daß eine Einrichtung (120) zum Zusammenführen von aus sämtlichen Ausgängen der Raumschaltmatrizen (130<sub>1</sub>, 130<sub>2</sub>, ... 130<sub>K</sub>) austretenden Wellenlängen auf eine der Anzahl (L') der Ausgänge jeder Raumschaltmatrix entsprechende Anzahl (L') Ausgänge (120'<sub>1</sub>, 120'<sub>2</sub>, ... 120'<sub>L'</sub>), die allen Raumschaltmatrizen (130<sub>1</sub>, 130<sub>2</sub>, 130<sub>K</sub>) gemeinsam zugeordnet sind, wobei die Einrichtung (120) zum Zusammenführen eine dem Produkt (K · L) aus der Anzahl der Raumschaltmatrizen (K) und der Anzahl (L') der Ausgänge jeder Raumschaltmatrix entsprechende Anzahl Eingänge (120<sub>11</sub>, 120<sub>12</sub>, ... 120<sub>L'</sub>; 120<sub>21</sub>, 120<sub>22</sub>, ... 120<sub>2L'</sub>; 120<sub>K1</sub>, 120<sub>K2</sub>, ... 120<sub>KL'</sub>) aufweist, deren jeder mit nur einer Raumschaltmatrix durch einen Ausgang dieser Matrix, der diesem Eingang allein zugeordnet ist, verbunden ist.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

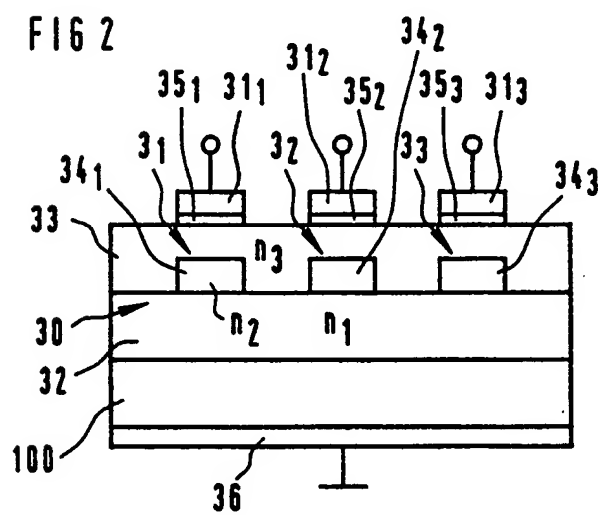
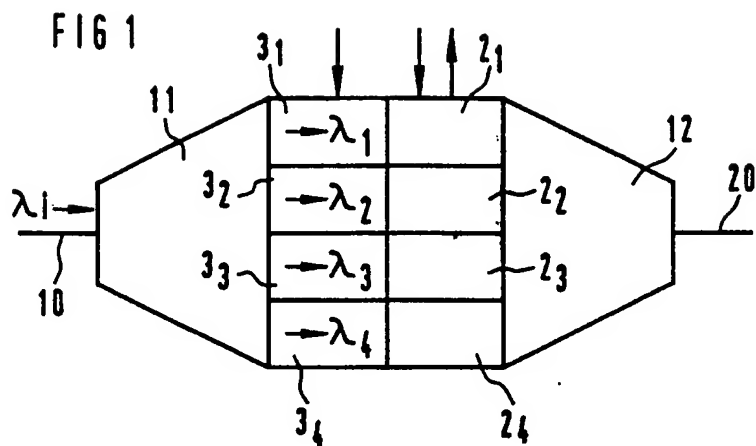




FIG 3

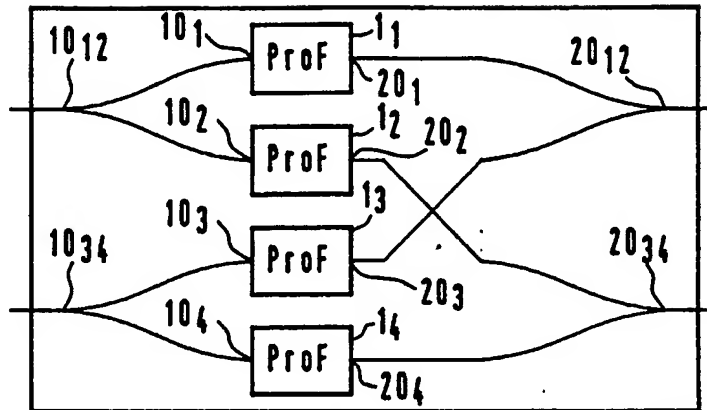


FIG 4

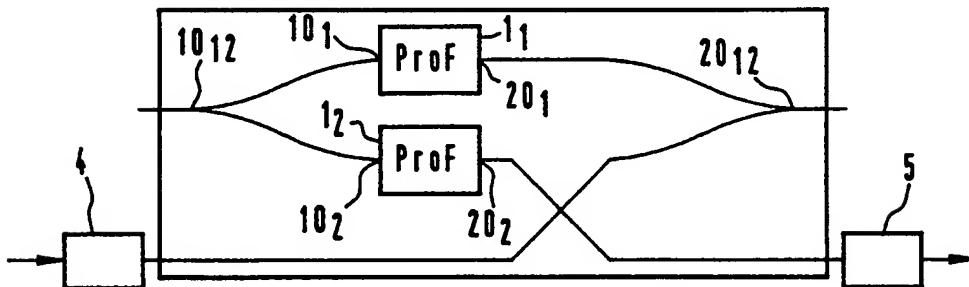


FIG 5

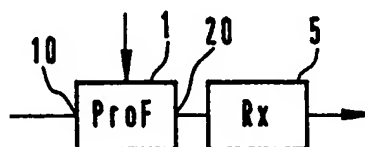


FIG 6

